



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 21 755 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
F 16 H 47/08
B 60 K 17/06
B 60 K 41/12

②1 Aktenzeichen: P 43 21 755.9
②2 Anmeldetag: 30. 6. 93
④3 Offenlegungstag: 2. 12. 93

DE 43 21 755 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦1 Anmelder:

Hacht, Harald von, 22417 Hamburg, DE

⑦2 Erfinder:

gleich Anmelder

⑤4 Vegetative Antriebskonzeption mit Hilfe eines stufenlosen servomechanischen Getriebes

⑤7 Der Erfindung lag die Aufgabe zugrunde, einen Antriebsmotor mit konstanter Drehzahl laufen zu lassen und mit Hilfe eines angeflanschten Getriebes die Ausgangsdrehzahl, stufenlos von NULL beginnend, bis zu einer Enddrehzahl erhöhen bzw. bei Anwendung in einem Kraftfahrzeug dieses vom Stand bis zu einer Endgeschwindigkeit stufenlos beschleunigen und auch wieder verlangsamen zu können. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Teile eines Planetensatzes fest mit Teilen eines Drehzahlwandlers verbunden werden. Sämtliche Zahnräder stehen stets im Eingriff und kein Zahnrad wird "geschaltet". Bremsen man z. B. den Planetenträger bis unter das "systemimmanente Drehzahlverhältnis" ab, so kehrt sich die Drehrichtung um.

Sollte während des Betriebes die Antriebsdrehzahl bereits gleich der Getriebeausgangsdrehzahl sein, also praktisch bei Synchronlauf, ließe sich jetzt eine Überbrückungskupplung, wie sie technisch durchaus bekannt ist, einsetzen.

Um sicherzugehen, daß die Motordrehzahl auch bei größerer erforderlicher Drehmomentabnahme konstant gehalten werden kann, wird eine Rückkopplung zwischen der Getriebedrehzahlsteuerung und der automatischen Motordrehzahlregelung vorgesehen.

Das "vegetative" Antriebskonzept ist als die in jeder Beziehung sinnvollste Antriebsart anzusehen. Nur mit diesem Antriebssystem ist höchste Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig effektivster Umweltschonung zu erreichen. Denn bei Verwendung von auf diesen Einsatz ausgelegten ...

DE 43 21 755 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 93 308 048/642

8/48

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die im Sinne dieser Erfindung als "vegetativ" bezeichnete Antriebskonzeption (VA-Konzeption) für alle durch Getriebe steuerbaren Antriebe ist dadurch gekennzeichnet, daß im Gegensatz zu allen bisherigen Antriebsformen die Antriebsmaschine nicht mehr direkt, also motorisch, gesteuert wird, sondern konstant mit ihrer optimalen Drehzahl bei maximalem Drehmoment und damit beim besten Wirkungsgrad arbeiten kann. Die Steuerung erfolgt vielmehr über ein stufenlos regelbares und stufenlos umkehrbares Getriebe, das Gegenstand dieser Erfindung ist. Dieses Getriebe, bei dem nie ein Zahnrad geschaltet werden muß, ermöglicht zusätzlich eine kontinuierliche und leistungsabhängige maximale Beschleunigung.

Herkömmliche Antriebssysteme sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß zur Variation der abgegebenen Leistung das krafterzeugende Aggregat gesteuert wird, wobei das zwischengeschaltete Getriebe die Aufgabe hat, die Leistungsübertragung so zu regeln, daß einerseits ein Anfahren überhaupt erst möglich wird und andererseits im Zustand des Laufens ein möglichst guter Wirkungsgrad zwischen Leistungserzeugung und Leistungsabnahme erreicht wird. Die Nachteile dieser Anordnungen bestehen darin, daß das Antriebsaggregat zu einem nicht optimal ausgelegt werden kann und zum anderen, wenn es erst einmal ausgelegt ist, nur selten in der dem optimalen Wirkungsgrad entsprechenden Drehzahl betrieben werden kann. Alle bisherigen Entwicklungen von stufenlosen Getrieben, wie beispielsweise in den Schriften

DP 6 53 589,
DP 22 15 396,
DP 23 17 482,
DP 24 10 342,
DP 35 30 185,
DE 26 50 152,
DE 37 12 659 A1,
US 2 147 528,
US 2 308 547,
US 3 431 798,
US 3 653 279

dargestellt, bieten zum Beispiel der Antriebsmaschine nie die Möglichkeit, mit einer konstanten Drehzahl ihres besten Wirkungsgrades laufen zu können. Ferner ist auch der Wirkungsgrad der hydraulischen Drehzahlsteuerungsmechanismen noch sehr schlecht, weil die Turbinen der Wandler oft, im Gegensatz zu der vorliegenden Erfindung, aus dem Stand heraus beschleunigt werden müssen. Eine einfache Drehrichtungsumkehr wird fast nie erwähnt. Viele Konstruktionen vermitteln durch ihre Kompliziertheit verstärkte Anfälligkeit. Viele Konstruktionen lassen auch ohne zusätzliches Bauteil keine Ruhesteilung im Abtrieb zu.

Der Erfindung lag die Aufgabe zugrunde, eine servomechanische Antriebsvorrichtung mit möglichst geringem technischen Aufwand und gutem Wirkungsgrad zu entwickeln, deren Übersetzung stufenlos zu regeln ist. Die vorliegende Erfindung geht davon aus, daß das Antriebsaggregat selbst durch interne automatische Regelung, wie sie bereits hinreichend bekannt ist, immer im optimalen Drehzahlbereich gehalten werden kann und die Variation der Leistungsübertragung über das stufenlos regelbare Getriebe, das Gegenstand dieser Erfindung ist, vorgenommen wird. In gleicher Weise wäre es möglich, die Drehzahlkonstanz auf die Seite der Leistungsabnahme zu legen, wenn das Antriebsaggregat

(z. B. bei Windkraftmaschinen) mit wechselnder Drehzahl arbeiten sollte.

In Analogie zu biologischen Abläufen wird die hier dargestellte Anordnung mit dem Begriff "vegetativ" gekennzeichnet, da die Steuerung der Leistungsabnahme nicht mehr durch direkte motorische Beeinflussung der Antriebsmaschine, sondern indirekt durch ausschließliche Steuerung des diesem Getriebe eigenen "systemimmanenten Drehzahlverhältnisses" erfolgt.

Zur vorliegenden Erfindung gehören u. a. Vorrichtungen (Wandler), die geeignet sind, alle Arten von Getriebeformationen, die zwischen Antriebs- und Abtriebsrad Planetenräder aufweisen (z. B. auch Differentiale), in einer bisher nicht bekannten Art und Weise zu steuern.

Die mechanischen, geometrischen und mathematisch/physikalischen Grundlagen von Planetenradanordnungen werden als bekannt vorausgesetzt, wenngleich das Drehzahlverhalten noch neue Erkenntnisse zuläßt.

Bisher bekannte Planetenradsysteme arbeiten in der Weise, daß eine Eingangskraft entsprechend der vorgegebenen Auslegung des Systems in passiver Weise umgesetzt wird. Dabei kann im Normalfall davon ausgegangen werden, daß von den drei wesentlichen, beweglichen Teilen, nämlich Sonnenrad (S), Planetenträger (PT) mit Planetenrädern und Umlaufrad (U), jeweils eines fixiert bleibt. Im Betrieb stellt sich dabei ein "systemimmanentes Drehzahlverhältnis" zwischen den beiden beweglichen Teilen ein, das für einfachste Planetensatzkonstellationen durch die folgende Formel wiedergegeben wird:

$$n_s - n_p - (n_p - n_u) \cdot \frac{Z_u}{Z_s} = 0. \quad (1)$$

Darin ist n die jeweilige Drehzahl in min^{-1} und Z die jeweilige Anzahl der Zahnradzähne.

Ist in einer derart "stabilen" Planetensatzkonstellation das Umlaufrad fixiert, so liegt das "systemimmanente Drehzahlverhältnis" im Bereich von ca. 0,4 : 1 bei gleicher Drehrichtung von Planetenträger und Sonnenrad vor. Dabei ist eine evtl. gewünschte Variation dieses Drehzahlverhältnisses durch Änderung der Zahnradgrößen aufgrund konstruktiver Beschränkungen nur in sehr begrenztem Maße möglich. Arretiert man dagegen den Planetenträger, so ergibt sich nach gleicher Formel ein "systemimmanentes Drehzahlverhältnis" von ca. 0,5 : 1 zwischen Umlaufrad und Sonnenrad. Nur sind jetzt die Drehrichtungen von Umlaufrad und Sonnenrad entgegengesetzt.

Sind allerdings im Gegensatz zu den obigen Annahmen in einem Planetenradsystem alle Teile frei beweglich, so liegt im System ein instabiles Drehzahlverhalten vor.

Das Drehzahlverhältnis zweier Teile der einfachsten Planetensatzkonstellation läßt sich jedoch stärker beeinflussen, wenn z. B. mehrere Planetensätze derart in Reihe geschaltet werden, daß alle Sonnenräder sich auf einer Welle drehen und die Umlaufräder mit dem Planetenträger des jeweils nächsten Satzes verbunden sind (siehe Fig. II).

Die Erfindung bietet mit dem "systemimmanenten Drehzahlverhältnis" technisch die Möglichkeit, daß zur Synchronisation zwischen An- und Abtrieb nicht die zwischen diesen bestehende volle Drehzahldifferenz abgebaut werden muß, sondern nur eine um mehr als die Hälfte niedrigere Drehzahldifferenz zwischen den beweglichen Teilen des Servogetriebes.

Da der Gesamtwirkungsgrad der neuen, der Erfin-

dung zugrundeliegenden VA-Konzeption im wesentlichen vom Wirkungsgrad der die Drehzahl regelnden Technik abhängt, sollte die zu beeinflussende Drehzahl-differenz zweier Teile immer so gering wie technisch möglich sein. Daraus folgt, daß auf der einen Seite die Antriebsmaschine mit einer Drehzahl automatisch gesteuert werden kann, die den laut Konstruktionsberechnung besten Wirkungsgrad ermöglicht und andererseits dank des "vegetativen" Antriebs jetzt stufenlos jede Drehzahl abgenommen werden kann.

Die vorliegende Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß zur Stabilisierung des Drehzahlverhaltens bei freier Beweglichkeit aller Teile in das Planetensystem aktiv in der Weise eingegriffen wird, daß

a. beim Anfahren des Systems aus dem Stand heraus (d. h. ein Teil ist fixiert) das "systemimmanente Drehzahlverhältnis" zwischen dann zwei beweglichen Teilen verändert wird mit der Wirkung, daß das dritte Teil sich in Bewegung setzt, und zwar vor oder zurück, je nachdem, ob das obige Drehzahlverhältnis verkleinert oder vergrößert wird,

b. während des Laufens durch stufenlose Veränderung dieses Drehzahlverhältnisses im positiven wie im negativen Sinne alle denkbaren Änderungen des Laufzustandes (Beschleunigen, Verlangsamen, Änderung der Drehrichtung) herbeigeführt werden. Dabei verharrt das dritte Teil immer dann in Ruhestellung, wenn sich zwischen den beiden anderen Teilen deren "systemimmanentes Drehzahlverhältnis" einstellt.

Bei konstanter Eingangsdrehzahl läßt sich nur auf diese Weise technisch sinnvoll eine stufenlos regelbare Abgangsdrehzahl erreichen.

Der erfindungsgemäße aktive Eingriff im Sinne einer stufenlosen Regelung erfolgt also durch Steuerung der Änderung der Drehzahlrelation über stufenlose Beschleunigung bzw. Verzögerung eines Teils des Planetenradsystems gegenüber einem anderen.

Dies kann durch Steuermechanismen vielfältiger Art geschehen, z. B. Drehmomentwandler, Viskosekupplung oder Strommaschine, die mit Teilen des Getriebes fest verbunden sind, wie in den Fig. I bis XII dargestellt. Die Viskosekupplungen oder -bremsen können und sollten immer thermisch gesteuert werden.

Wesentlich für die Erfindung ist die Tatsache, daß aktiv in das in allen Teilen bewegliche Planetenradsystem eingegriffen wird, und zwar gilt dies für alle Freiheitsgrade des jeweiligen Systems von Planetenradkonstruktionen.

In den Fig. I bis XII sind beispielhaft Möglichkeiten dargestellt, wie unterschiedliche Steuermechanismen auf unterschiedliche Weise mit Planetenradanordnungen konstruktiv fest verbunden sein können. Für alle Anordnungen gilt, daß das über eine Welle eingeleitete Drehmoment in mindestens zwei Stränge aufgeteilt wird, und zwar

- in Fig. I und II in zwei hydraulische Stränge,
- in den Fig. III bis X in jeweils einen mechanischen und hydraulischen Strang,
- in den Fig. XI und XII in jeweils einen mechanischen und einen elektrischen Strang.

Die Einleitung der Kraft muß bei Fig. I bis VI immer bei 1 erfolgen, bei Fig. VII bis XII kann der Kraftfluß sowohl von 1 nach 10 als auch von 10 nach 1 geführt werden. Die drehenden Wandlergehäuse 2 von Fig. I, II,

III, IV und VI müssen zwecks Steuerung der Ölfüllung mit Fliehkraftventilen 14 versehen sein. Bei dem stehenden Wandler in Fig. V ist die Ölsteuerung stationär auszuführen. Bei allen Getriebeformationen ist sinnvoll eine Fliehkraftkupplung oder Überbrückungskupplung einzusetzen, die greift, sobald Synchronlauf vorliegt.

Die Drehrichtungsumkehr ist bei Fig. I, II und VI mit Hilfe eines blockierenden Bremsbandes 13 zu erreichen, bei den Fig. III, IV, V, VII, VIII, X, XI und XII muß eine steuerbare Abbremsung gewählt werden, eine Viskosebremse oder eine z. B. bei einem Kraftfahrzeug über den Bremspedaldruck steuerbare Schlupfkupplung bekannter Art. Eine stufenlose Drehzahländerung sowohl im Vor- und Rücklauf wird in Fig. VI dargestellt. Sollte auf die Umkehr der Drehrichtung im Abtrieb verzichtet werden können, ist jede Verbindung von Teilen des Drehzahlwandlers mit Teilen des Planetenradsatzes möglich (siehe Fig. IX), bei einfachster Umkehrmöglichkeit sollte aber ein Drehmomentanteil über den Planetenträger führen, der dann abzubremesen sein muß.

Der Einsatz eines VA-Antriebs in einem Kraftfahrzeug bietet die folgenden Vorteile:

1. Die Antriebsmaschine kann bei geforderter Leistung ohne direkte Einflußnahme stets konstant in der günstigsten Drehzahl betrieben werden.
2. Der Wirkungsgrad der Antriebsmaschine kann somit maximiert werden, ihr thermischer Haushalt ist gleichmäßiger.
3. Auch bei Verbrennungsmaschinen ist eine vereinfachte Auslegung möglich.
4. Der notwendige Energieeinsatz wird reduziert.
5. VA-Systeme sind umweltfreundlich, da die Abgaszusammensetzung leichter überprüfbar, berechenbar und steuerbar ist.
6. VA-Antriebe sind durch ihre vergleichsweise einfache Konstruktion billiger in der Herstellung und wartungsärmer, da sie weniger Bauteile erfordern.
7. Bei Bedarf ist auch optimale Beschleunigung bis hin zum Synchronlauf im Getriebe möglich, d. h. bei normal üblicher Übersetzung im Differential von Kraftfahrzeugen, bis hin zu einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h.
8. Das Führen von Fahrzeugen wird erleichtert.
9. Die Antriebsmaschine kann bezüglich des Energieverbrauchs und der Schadstoffemission konstruktiv effektiver ausgelegt werden: Für die Motorkonstruktion ist nur noch die Drehzahl des maximalen Drehmoments wichtig, d. h. es bedarf nicht so vieler technischer Kompromisse wie bei herkömmlichen Antriebssystemen. Sämtliche Berechnungskriterien können auf diese Drehzahl bezogen werden. Die Leerlaufdrehzahl kann vernachlässigt werden, die Drehzahlen zwischen der Leerlaufdrehzahl und der Drehzahl des maximalen Drehmoments sind nicht relevant und Drehzahlen oberhalb der Drehzahl des maximalen Drehmoments können vorkommen oder auch nicht.
10. Neue Antriebe treten jetzt in den Bereich der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit.
11. Die Übersetzung im Fahrzeug kann so ausgelegt werden, daß der Synchronlauf in dem neuen Getriebe dann eintritt, wenn eine evtl. gesetzlich vorgeschriebene Endgeschwindigkeit erreicht ist.
12. Um unter Inkaufnahme eines schlechteren Wirkungsgrades Fahrzeugen eine höhere Geschwindigkeit zu verleihen, als es der Synchronlauf des VA-Antriebs erlaubt, kann die Motor-drehzahl zu-

sätzlich erhöht werden, um die Leistungsreserve (in kW bzw. PS) des Motors zu nutzen.

Bezeichnungen in den Fig. 1 bis XII

1 Antriebswelle	5
2 Wandler-Gehäuse	
3 Pumpe	
4 Pumpenwelle	
5.1 Imlaufgrad 1	10
5.2 Umlaufgrad 2	
6.1 Turbine 1	
6.2 Turbine 2	
7.1 Turbinenwelle 1	
7.2 Turbinenwelle 2	15
8.1 Planetenträger 1	
8.2 Planetenträger 2	
9.1 Sonnenrad 1	
9.2 Sonnenrad 2	
10 Abtriebswelle	20
11 Leitrad	
12 Freilauf	
13 Bremse	
14 Fliehkraftventil	
15 Ölkanal	25
16 Differential	
17 Zahnrad	
18 Zahnrad	
19 Zahnrad	
20 Zahnrad	30

Patentansprüche

1. Die Erfindung betrifft ein als "vegetativ" bezeichnetes Antriebssystem, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Regelung des Verhältnisses zwischen Antriebs- und Abtriebsdrehzahl über ein stufenlos regelbares servomechanisches Getriebe erfolgt, wobei jeweils eine der beiden Drehzahlen zur Erzielung eines optimalen Wirkungsgrades unabhängig von der Belastung konstant gehalten werden kann. Die stufenlose Veränderung der jeweils nicht konstant gehaltenen anderen Drehzahl (auch bei $n = 0$ beginnend) erfolgt durch bewußt herbeigeführte Veränderung des dem im Servogetriebe wirksamen Planetenradsystems innewohnenden, im folgenden als "systemimmanent" bezeichneten Drehzahlverhältnisses zwischen jeweils zwei der sämtlich beweglichen Teile dieser Planetenradanordnung mittels fest mit Teilen dieser Anordnung verbundener Servomaschinen (Steuermechanismen wie z. B. hydraulische Kupplung, hydraulischer Wandler, Viskosekupplung, elektrische Kupplung, mechanische Rutschkupplung), wodurch das jeweils dritte Teil der Planetenradanordnung in eine Drehbewegung versetzt wird, wobei Drehzahl und Drehrichtung von der Art der Veränderung des Drehzahlverhältnisses der jeweils beiden anderen Teile sowie davon abhängt, in welchem Drehzahlbereich sich diese bewußt herbeigeführte Veränderung abspielt. Die Umkehr der Drehrichtung, die nur möglich ist, wenn der Planetenradträger individuell abgebremst werden kann, wird durch Reduzierung der Planetenträgerdrehzahl, notfalls bis zum Stand, erzielt.

Um stets ein Leistungsgleichgewicht zwischen erzeugter und abgenommener Leistung zu gewährleisten, wird eine Rückkopplung zwischen Servoge-

triebe und Antriebsmaschine vorgesehen.

Die Erfindung beinhaltet die Nutzung des spezifischen "systemimmanenten Drehzahlverhältnisses" von Planetenradsystemen mit dem Ergebnis, daß bei drehender Antriebswelle und stehendem Abtrieb schon zwei Elemente im servomechanischen Getriebe mit unter Umständen weniger als 50% Drehzahldifferenz sich in gleicher Drehrichtung bewegen können. Eine völlige Drehzahlangleichung zwischen An- und Abtrieb durch Synchronisation dieser beiden Elemente bedeutet eine erhebliche Wirkungsgradsteigerung gegenüber allen bisher bekannten Konstruktionen.

2. Anordnung nach Anspruch 1 mit hydromechanischer Steuerung, bei der der die Drehzahldifferenz steuernde Wandler zum Zwecke der notfalls erforderlichen Entleerung bei Leerlaufdrehzahl mit Fliehkraftventilen ausgestattet ist, die bis zum Synchronlauf von Pumpe und Turbine für einen ständigen begrenzten Durchlauf sorgen.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich das in der Servomaschine zu synchronisierende "systemimmanente Drehzahlverhältnis" in dem Planetenradsystem dadurch erheblich beeinflussen läßt, daß das Planetenradgetriebe erweitert wird. Nach Fig. II verringert sich die den Wirkungsgrad beeinflussende Drehzahldifferenz im Wandler zwischen Pumpenrad und Turbine auf weniger als 1 : 0,6. Hierbei treibt z. B. die Turbine 6.1 beide Sonnenräder 9.1 und 9.2 und Turbine 6.2 den ersten Planetenträger 8.1, der wiederum über das Umlaufgrad 5.1 den Planetenträger 8.2 antreibt. Auf diese Weise läßt sich der Wirkungsgrad in der Servomaschine sehr einfach erheblich verbessern.

4. Anordnung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Servomaschine mittels durch Freilauf gelagerter Leiträder eine weitere Wirkungsgradsteigerung bringt.

5. Anordnung nach Anspruch 1, 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei stehendem Gehäuse nach Fig. V eine leichtere Drehmomentsteuerung möglich wird.

6. Anordnung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Wandleraufbau mit Pumpe, Turbine und Leitrad nach Fig. VI möglich wird, bei dem jetzt auch eine stufenlose Drehzahländerung nach Drehrichtungsumkehr möglich ist.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei den Ausführungen nach Fig. VII, VIII, IX und X die die Drehzahl steuernden Viskosemaschinen zusätzlich thermisch gesteuert werden, um die stufenlose Traktion zu erleichtern. Bei diesen Konstruktionen ist die Richtung des Kraftverlaufes durch das servomechanische Getriebe nicht festgelegt.

8. Anordnung nach Anspruch 1, 2, 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Anordnung nach Fig. IX in der einerseits mit dem Sonnenrad und andererseits mit dem Umlaufgrad gekoppelten Servomaschine von vornherein eine Drehzahldifferenz von etwa 1 : 0,5 (und zwar in Gegenrichtung) besteht. Die Umkehr der Drehrichtung müßte jetzt z. B. nach Anordnung der Fig. VI erfolgen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

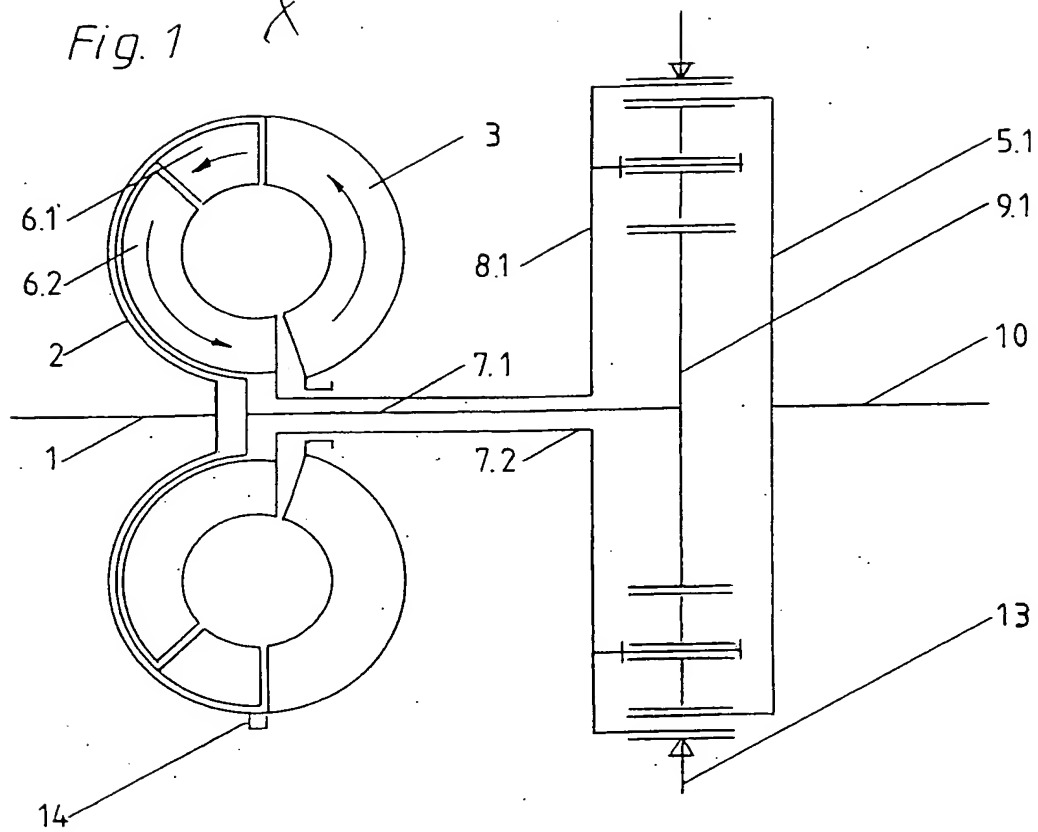


Fig. 2

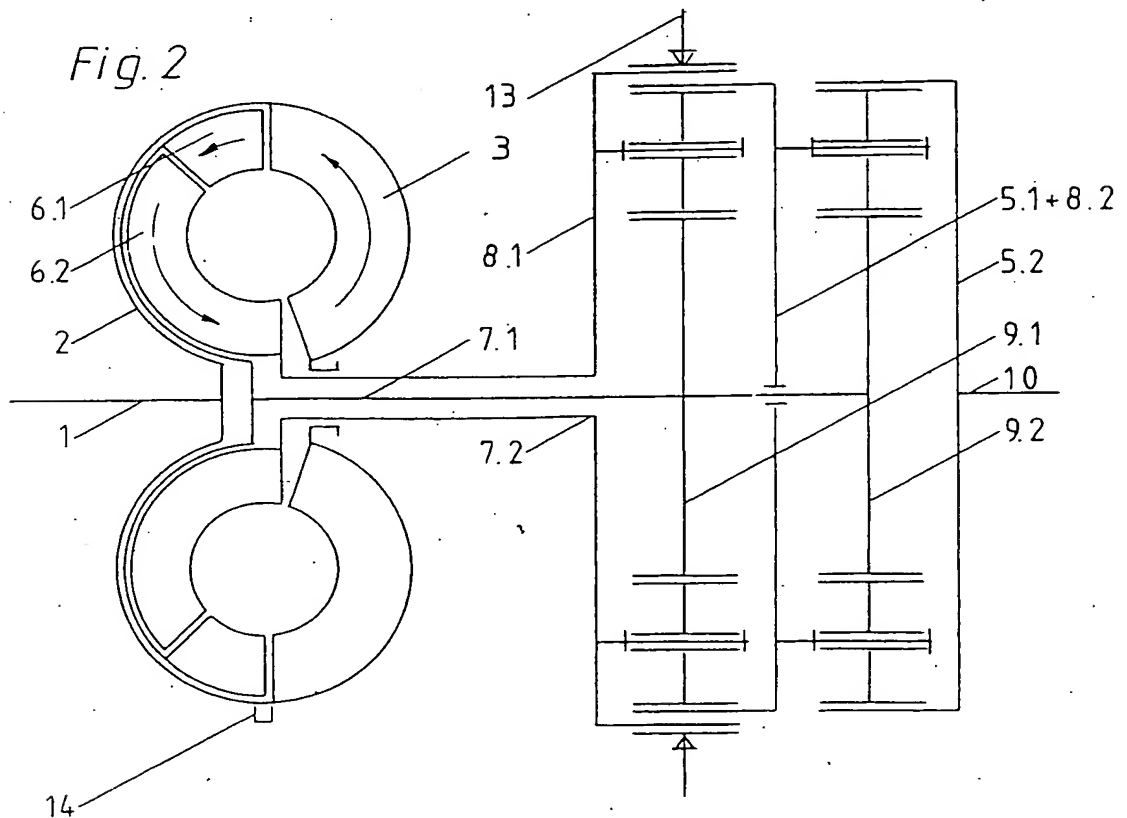


Fig. 3

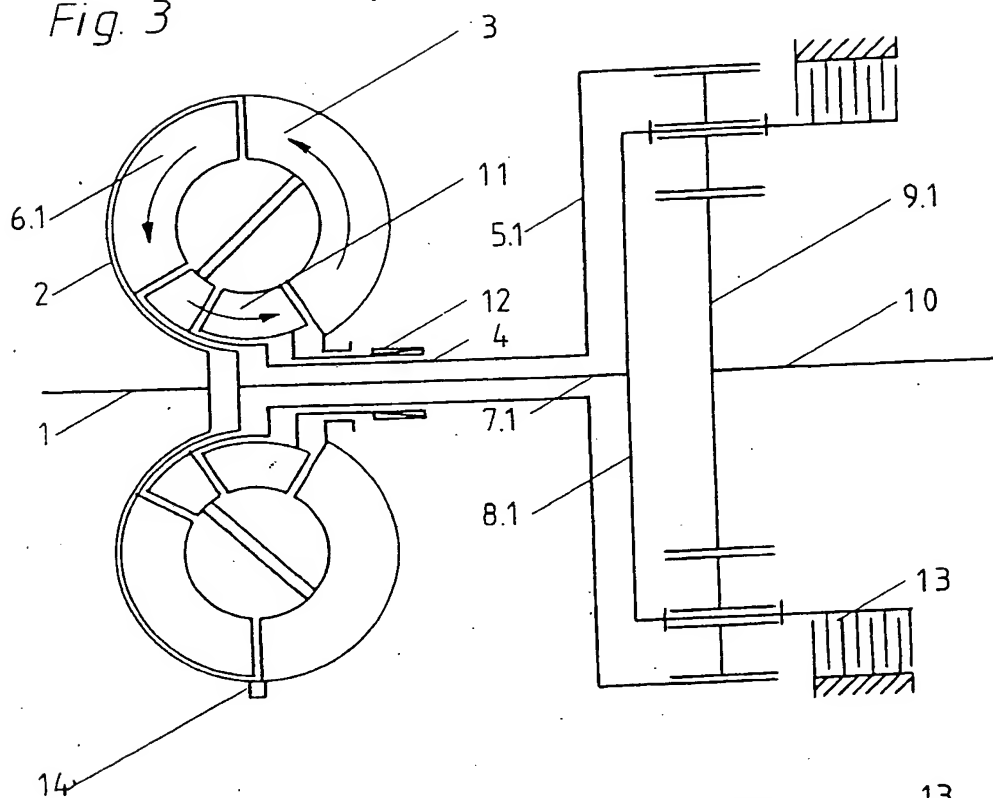


Fig. 4

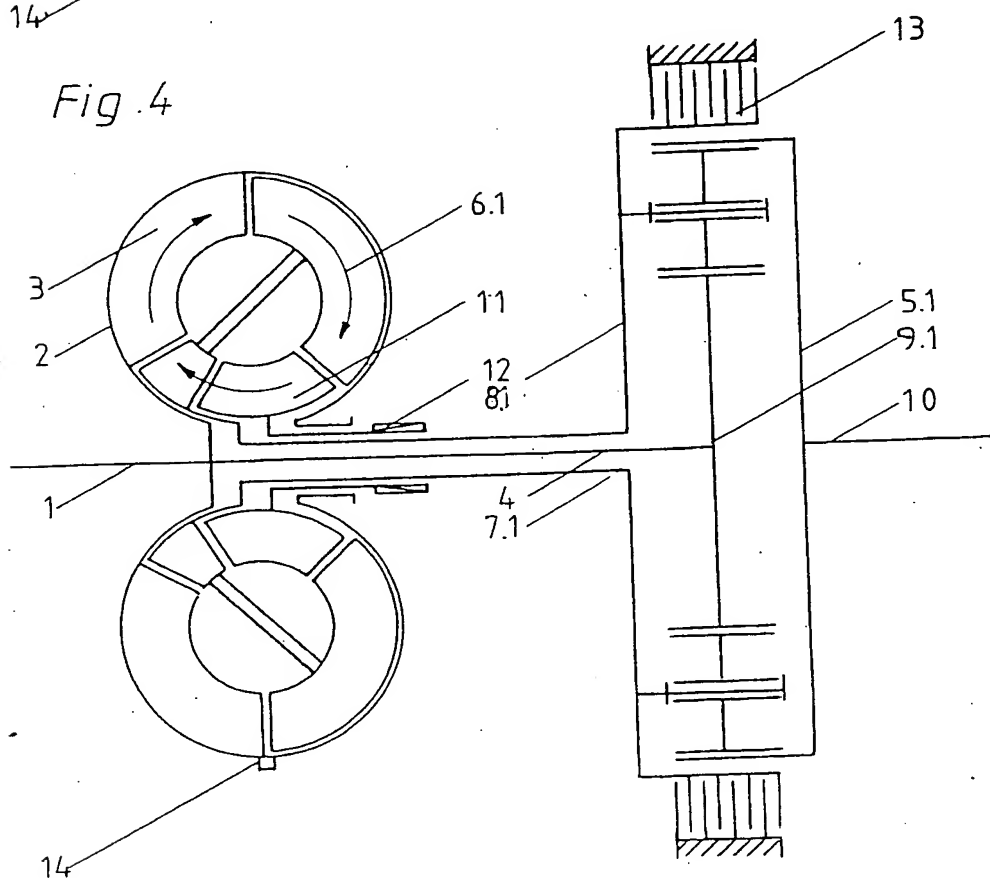


Fig.5

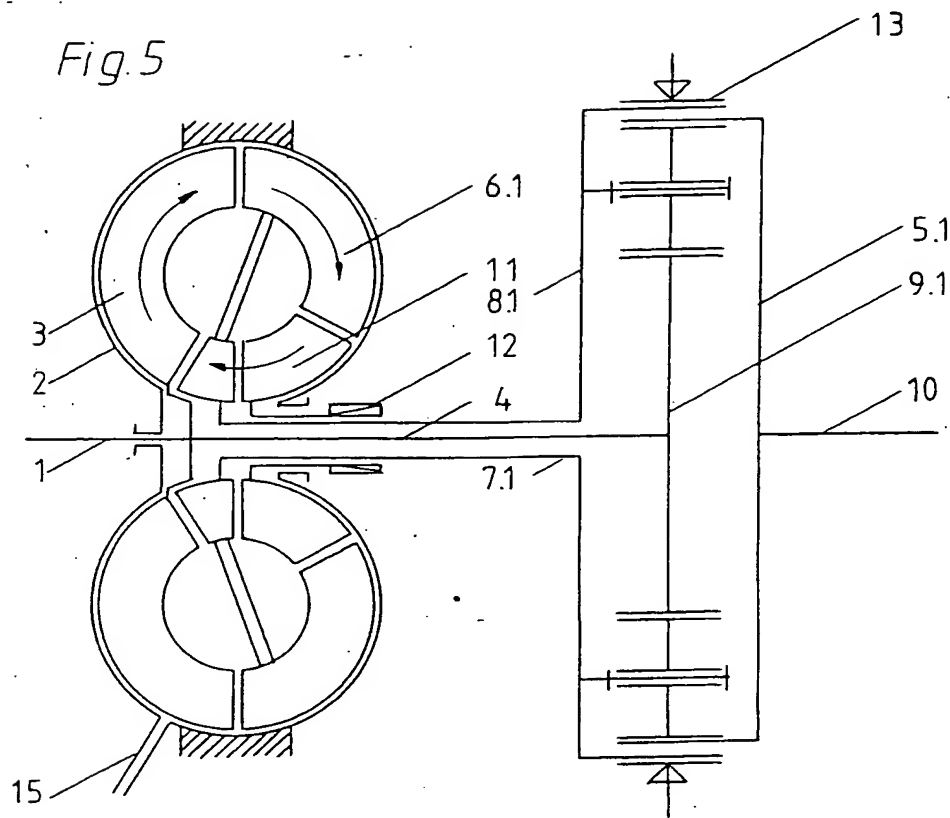


Fig.6

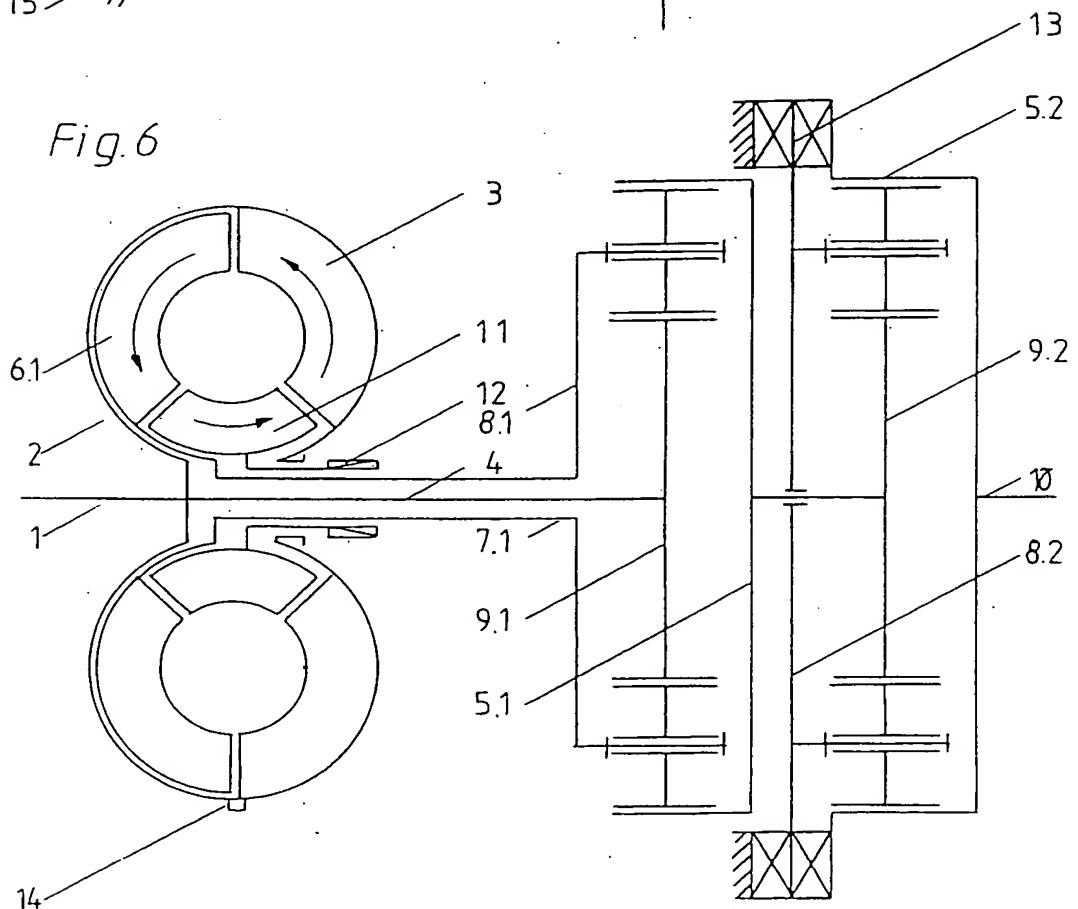


Fig. 7

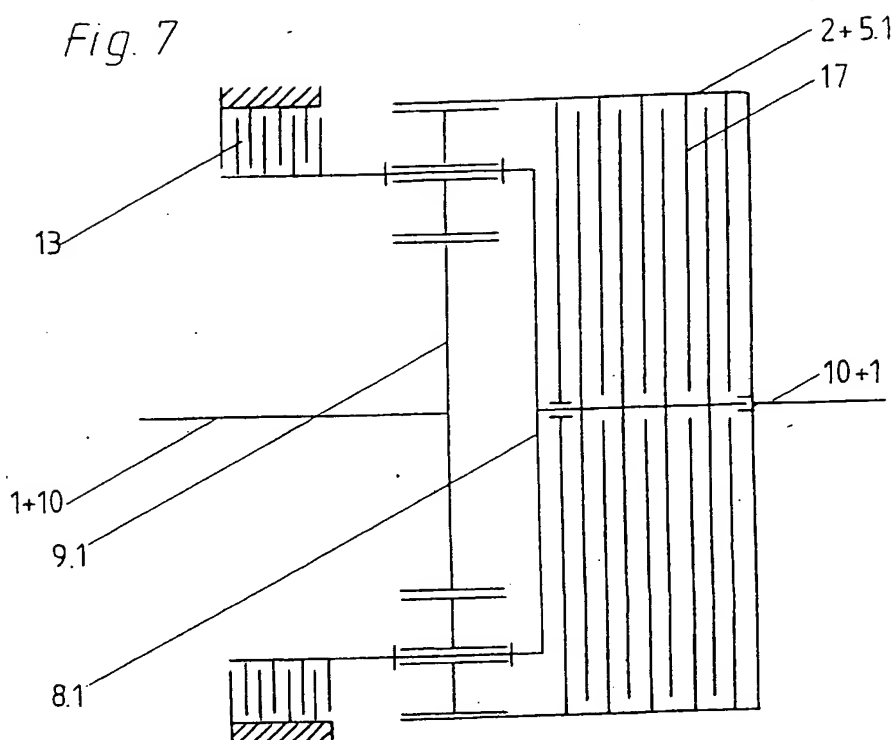


Fig. 8

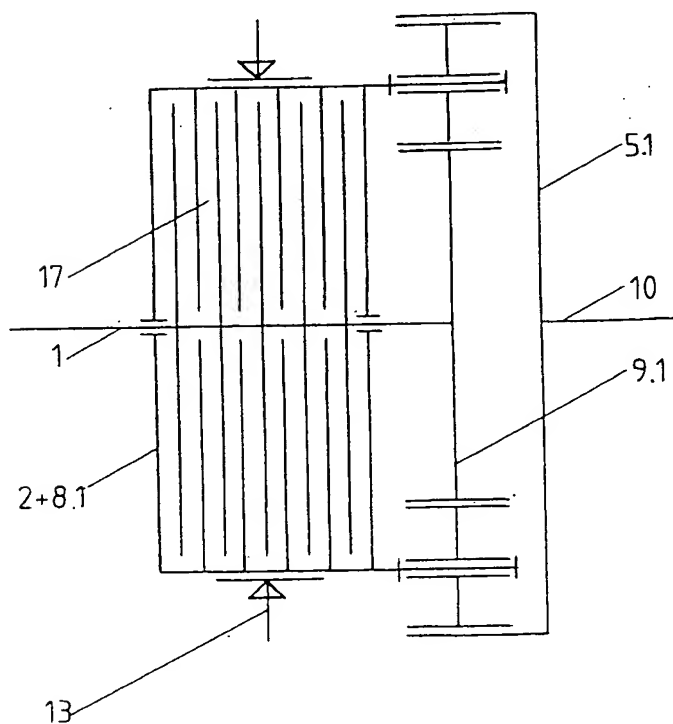


Fig. 9

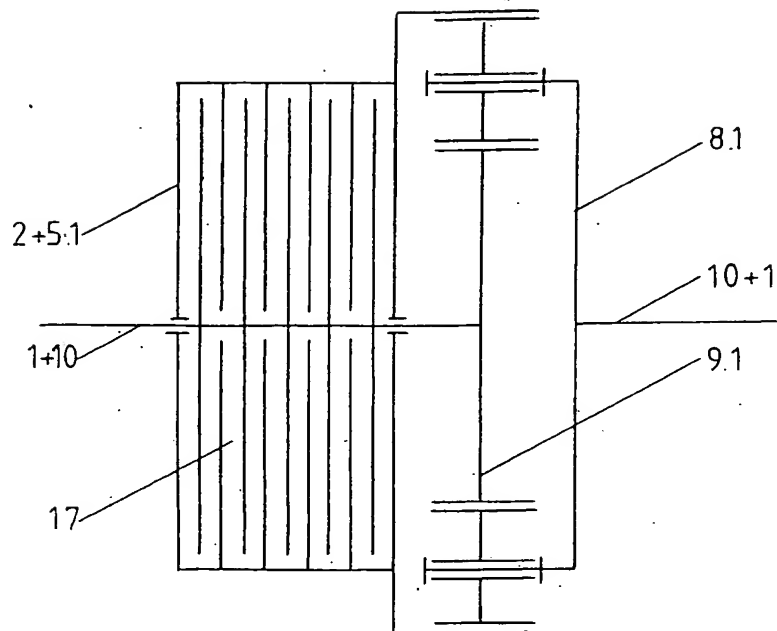


Fig. 10

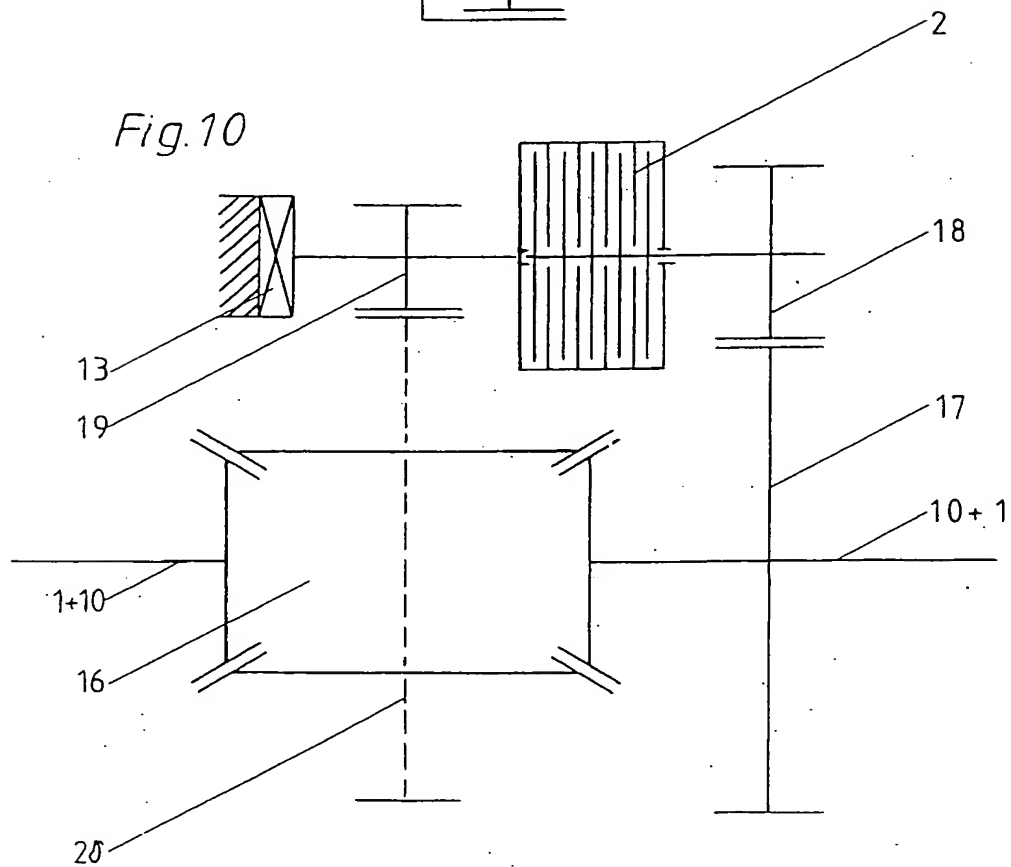


Fig. 11

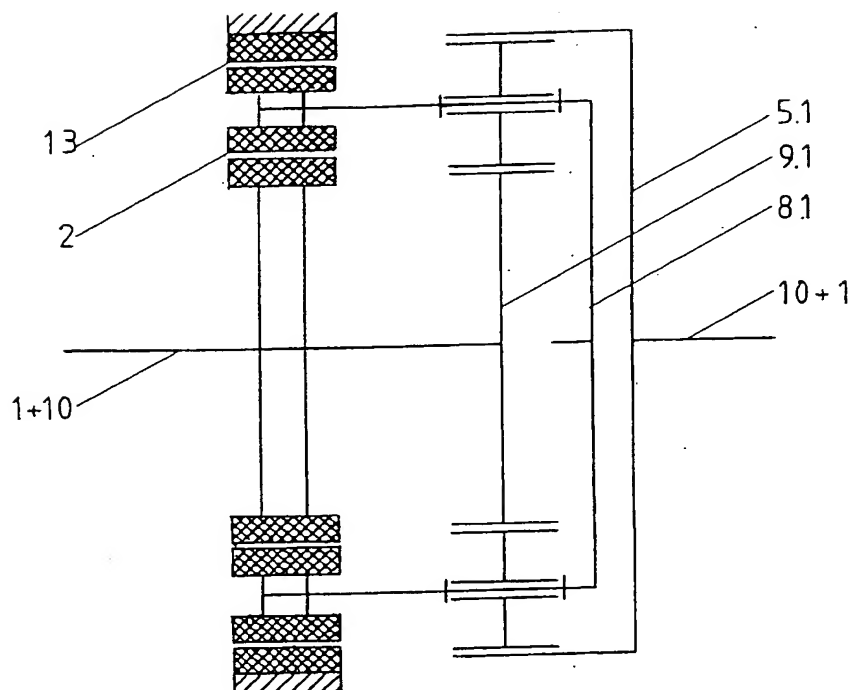


Fig. 12

